

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Koneautomaatio

2020

Valtteri Hartikainen

RUNKOVALMISTUKSEN PROSESSIN AIKAISEN TARKASTUKSEN KEHITTÄMINEN

Valtteri Hartikainen

RUNKOVALMISTUKSEN PROSESSIN AIKAISEN TARKASTUKSEN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Sandvik Mining and Construction Oy:n Turun tehtaalle, jossa valmistetaan kuljetus- ja lastauskoneita kaivosteollisuudelle. Tavoitteena oli soveltaa prosessin aikaisen laaduntarkkailun periaatteita Turun tehtaan runkovalmistusosastolle. Tämä tarkoittaa sitä, että runkovalmistukselle luotiin laatuporttimalli ja tarkastussuunnitelmat, joita voidaan käyttää tarkastusten tekemiseen.

Työtä rajattiin tekemällä tarkastussuunnitelmat yhdelle Turussa valmistettavalle lastauskoneelle. Tarkastussuunnitelmat luotiin Siemens NX:llä tekemällä PMI-merkintöjä runko-osien 3D-mallien eri näkymiin ja käyttämällä tehtyjä näkymiä kuvantoina NX:n Drafting-sovelluksessa. Tehdyt tarkastussuunnitelmat tallennettiin Sandvikilla käytössä olevaan Teamcenter-tuotetiedonhallintajärjestelmään. Tarkastussuunnitelmat tehtiin hitsauksen kannalta kriittisten pisteiden pohjalta.

Opinnäytetyön lopputuotoksena saatiin luotua prosessimalli pilottina valitulle lastauskoneelle ja tarkastussuunnitelmat, joita voidaan käyttää hitsausprosessin aikaisten tarkastusten tekemiseen. Tehdyt tarkastussuunnitelmat toimivat tulevaisuudessa myös pohjana, kun niitä aletaan tehdä muille konemalleille.

ASIASANAT:

tarkastussuunnitelma, laatu, laadunhallinta

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering

2020 | 28 pages, 5 pages in appendices

Valtteri Hartikainen

DEVELOPMENT OF IN-PROCESS VERIFICATION FOR THE FRAME MANUFACTURING

This thesis was commissioned by Sandvik Mining and Construction Ltd in Turku. Turku plant manufactures loading and hauling trucks for the mining industry. The goal of the thesis was to apply the principles of in-process verification for the frame manufacturing department of Turku plant. This means that a quality gate model and inspection plans were created for the frame manufacturing. Inspection plans can be used to carry out inspections for the frame parts.

The scope of the work was limited to create inspection plans for one loading truck manufactured in Turku. The inspection plans were created on the Siemens NX by making PMI annotations on different views of the 3D models from the frame parts and using the resulting views as projections in the Drafting application of NX. The completed inspection plans were stored in Sandvik's Teamcenter product data management system. The inspection plans are based on critical points from the point of view of welding.

The result of the thesis was the creation of a process model as a pilot project for the chosen loading truck and inspection plans that can be used to carry out inspections during the welding process. The inspection plans that have been made will also serve as a basis for future work on other truck models.

KEYWORDS:

inspection plan, quality, quality control

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 SANDVIK AB	8
2.1 Historia	8
2.2 Liiketoiminta-alueet	8
2.3 Sandvik Suomessa	9
3 LAATU JA LAADUNHALLINTA	10
3.1 Laatu käsitteenä	10
3.2 Laadunhallinta	11
3.3 ISO 9000 -standardi	12
4 LAADUN PARANTAMISEN MENETELMÄT	15
4.1 Nollavirheajattelu	15
4.2 Lean	15
4.3 Six Sigma	16
5 TARKASTUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN	18
5.1 Tavoitteet	18
5.2 In-Process Verification	19
5.3 Laatupalautteet	21
5.4 Teamcenter ja NX	21
5.5 Työohjeiden tekeminen NX:llä	22
5.6 Tarkastussuunnitelmien tekeminen	23
5.7 Teamcenterin rakenne	24
6 YHTEENVETO	26
LÄHTEET	27

LIITTEET

Liitteet toimeksiantajan hallussa

KUVAT

Kuva 1. TH663i-kuljetuskone ja LH621i-lastauskone (Sandvik 2019).	9
Kuva 2. Toyota-talo (Logistiikan maailma 2019a).	16
Kuva 3. Esimerkki laatuporttimallista (SMPS Manual 2015a, 11).	19
Kuva 4. 5 x miksi -menetelmä (SMPS Manual 2015, 15).	20
Kuva 5. Keinuvivun 3D-malli ja PMI-merkintä.	22
Kuva 6. Kuvankaappaus Teamcenter Visualization -liitännäisestä.	23
Kuva 7. Kuvankaappaus Teamcenteristä.	25

KUVIOT

Kuvio 1. Prosessikaavio tavoitetilasta.	18
Kuvio 2. Kalanruotokaavio (SMPS Manual 2015, 11).	20
Kuvio 3. Kaavio laatu palautteista tulostetusta raportista.	21

TAULUKOT

Taulukko 1. Kokonaisvaltaisen laadunhallinnan kriittiset tekijät ja menetelmät (Logistiikan maailma 2019).	12
--	----

KÄYTETYT LYHENTEET

CAD	Computer-Aided Design, tietokoneohjelman avulla tehtävä suunnittelu
DMAIC	Seulontatekniikkaan perustuva ongelmanratkaisumenetelmä
DOE	Design of Experiments, koesuunnittelu
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis, vika- ja vaikutusanalyysi
IMS	Integrated Management System, johtamisjärjestelmä
IPV	In-Process Verification, prosessin aikainen laaduntarkkailu
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö
NX	3D-suunnitteluohjelmisto
PLM	Product Lifecycle Management, tuotteen elinkaaren hallinta
PMI	Product and Manufacturing Information, tuotteen valmistusta auttava tieto

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Sandvikin Turun toimipisteelle. Tavoitteena on soveltaa Sandvikilla yleisesti käytössä olevan prosessin aikaisen laaduntarkkailun periaatteita Turun tehtaan runkovalmistukselle. Tämä tarkoittaa sitä, että runkovalmistukselle luodaan laatuporttimalli ja laatuporteille tarkastussuunnitelmat. Prosessin aikaisella laaduntarkkailulla pyritään siihen, että laatupoikkeamat havaittaisiin työvaiheen aikana tai heti sen jälkeen, eikä vasta myöhemmin tuotannossa. Tämä auttaa säästämään korjauksesta syntyvissä kustannuksissa.

Työ rajattiin LH517i-lastauskoneen runko-osiin eli sen koneen keinuvipu, nostovarsi, eturunko ja takarunko. Kyseisille runko-osille tehdään tarkastussuunnitelmat, joita voidaan käyttää hitsausprosessin aikaista tarkastusta tehdessä. Tarkastussuunnitelmat on tarkoitettu tehdä Siemens NX 3D -suunnitteluohjelmalla niin, että tarkastussuunnitelmat on mahdollista avata Teamcenter-tuotetiedonhallintajärjestelmän kautta.

Opinnäytetyössä esitellään työn toimeksiantaja, jonka jälkeen käsitellään laadunhallinnan teoriaa laatukäsitteiden ja laadunhallinnan standardin kautta. Opinnäytetyössä esitellään myös laadunparantamisen menetelmiä. Näiden jälkeen kuvaillaan, miten työ toteutettiin ja tehdään yhteenveto työn tuloksista.

2 SANDVIK AB

Sandvik on korkean teknologian teollisuuskonserni, joka toimii maailmanlaajuisesti. Vuonna 2018 se työllisti noin 42 000 työntekijää, ja sen liikevaihto oli 100 miljardia Ruotsin kruunua. (Sandvik 2019a.)

2.1 Historia

Sandvikin perusti vuonna 1862 ruotsalainen Göran Fredrik Göransson. Hän oli ensimmäinen maailmassa, joka onnistui tuottamaan korkealuokkaista terästä Bessemer-menetelmällä teollisessa mittakaavassa. Alusta alkaen tuotevalikoimaan kuului kallion poraukseen tarkoitettuja teräsporia. Yritys listautui Tukholman pörssiin vuonna 1901. Ruostumatonta terästä alettiin valmistaa vuonna 1921 ja kovametallia vuonna 1942. Kovametallityökalujen valmistus aloitettiin 1950-luvulla Gimossa, Ruotsissa. Vuonna 1972 yritys sai nykyisen nimensä, ja vuonna 1984 muodostettiin emoyhtiö ja toiminta järjesteltiin eri liiketoiminta-alueisiin. (Sandvik 2019b.)

2.2 Liiketoiminta-alueet

Sandvikin toiminta on jaettu kolmeen eri liiketoiminta-alueeseen, jotka ovat

- Sandvik Machining Solutions
- Sandvik Mining and Rock Technology
- Sandvik Materials Technology.

Sandvik Machining Solutions valmistaa erilaisia työkaluja ja työkalujärjestelmiä kovista materiaaleista teolliseen metallin leikkaukseen. Sandvik Mining and Rock Technology toimittaa laitteet, kalustot, palvelut ja tekniset ratkaisut kaivos- ja urakointiteollisuuteen. Sandvik Materials Technology tuottaa kehittyneitä ruostumattomia teräksiä ja erikoismetalliseoksia kaikkein vaativimpiin tarpeisiin. (Sandvik 2019c.)

2.3 Sandvik Suomessa

Suomessa toimii Sandvik Mining and Construction Oy, joka on osa Sandvik-konsernia. Yhtiöllä on Suomessa kolme tehdasta, ja ne sijaitsevat Tampereella, Turussa ja Lahdessa. Tampereen tehtaalla valmistetaan poralaitteita ja niiden varaosia maanalaiseen ja maanpäälliseen kiven louhintaan. Turussa tehdään lastaus- ja kuljetuskoneita maanalaisiin kaivoksiin ja urakointitöihin. Lahdessa valmistetaan kaivukoneisiin asennettavat hydraulivasarat, purkutyölaitteet, louhintalaitteiden porakomponentit ja DTH-porakoneet. (Sandvik 2019.)

Lastaus- ja kuljetuskoneita on valmistettu nykyisellä sijainnilla Turun Runosmäessä 1970-luvulta asti, kun Tamrock myi Toro LHD -tuotelinjan Turun Tehtaalle (ARA Oy). Vuonna 1988 Tamrock osti Turun Tehtaan ja alkoi lähempi yhteistyö Tamrockin jälleenmyyjien kanssa. Samaan aikaan alettiin tehdä yhteisiä globaaleja kauppvoja. Vuonna 1995 nimeksi vaihtui Tamrock Loaders Oy. Sandvik AB osti Tamrockin vuonna 1998 ja Sandvik Mining and Construction liiketoimintasegmentti syntyi. Nimeksi vaihtui Sandvik Tamrock Oy. Sandvik Mining and Construction Oy -nimisenä on toiminut vuodesta 2006. (Sandvik 2019.)

Kuvassa 1 on LH621i-lastauskone lastaamassa TH663i-kuljetuskonetta. Kumpaakin konetta valmistetaan Turussa.



Kuva 1. TH663i-kuljetuskone ja LH621i-lastauskone (Sandvik 2019).

3 LAATU JA LAADUNHALLINTA

3.1 Laatu käsitteenä

Laatu on ikivanha, arkinen ja myös filosofinen aihe. Aikoinaan jo Aristoteles pohti laadun käsitettä ja antoi sille kaksi merkitystä. Laatu ilmaisee, miten jokin kohde erottuu toisista kohteista ja koetaanko eroavaisuus hyvänä tai pahana. Laatu ymmärretään samalla tavalla nykyisinkin. Laatu kuvaa, mikä on kohteelle ominaista ja mitä pidetään erityisen hyvänä. Laatukäsite on ydinasia johdonmukaisessa laatutoiminnassa, koska sen pohjalta tehdään käytännön ratkaisut. (Anttila & Jussila 2016.)

Määritelmä sille, mikä nähdään hyvänä ja tavoiteltavana, on vaihdellut vuosikymmenten aikana. Eri aikojen laatuasiantuntijat ovat antaneet omat näkemyksensä määritelmästä aikakauteen sopien. Kaikille laadun määritelmille yhteistä on sopivuus tarkoituksen mukaiseen käyttöön. (Karjalainen 2006.)

Karjalainen (2006) on kerännyt asiantuntijoiden määritelmiä eri aikakausilta:

- ”asiakkaan nykyisten ja tulevien tarpeiden täyttämistä laadun avulla” (Deming 1940)
- ”asiakkaan odotusten täyttäminen” (TQM 1950)
- ”kykyä tyydyttää asiakkaan tarpeet” (Edwards 1968)
- ”sopivuus käyttöön tai tarkoitukseen” (Juran 1989)
- ”se, mikä toteuttaa ostajan tarpeet” (Akyama 1991)
- ”Vaihdannassa eli transaktiossa näkyvä ominaisuus, joka vaikuttaa asiakkaan arviointeihin ja päätöksiin.” (Lillrank 1998)
- ”Laatu on tuotteen tai palvelun kyky täyttää asiakkaan tarpeet ja odotukset sekä tuottaa valmistajalleen voittoa. Laatu tuo tyytyväisyyttä ja rahaa.” (Harry 2000)

Kun laatua tavoitellaan tai sitä ylläpidetään, tärkeitä laatualan käsitteitä ovat laadunhallinta, laadun parantaminen ja laadun varmistus. Näille kaikille käsitteille löytyy ISO 9000 -standardimääritelmät. Määritelmät ovat yhteensopivia laatukäsitteen perusmääritelmän kanssa. Kansainvälinen ISO 9000 on standardisarja, joka on tärkein ja laajimmin levinnyt laatutoiminnan referenssi. Sitä sovelletaan miljoonissa eri organisaatioissa ympäri maailmaa. (Anttila & Jussila 2016.)

Liiketoiminnassa laatukäsité liitetään yleensä kyvykkyyteen tunnistaa asiakkaan tarpeet ja suunnitella tarpeisiin sopiva tuote tai palvelu, joka täyttää odotetut vaatimukset. Määritelmä ei yksinään riitä kuvaamaan yksiselitteisesti monitahoista käsitettä ja siihen liittyviä ilmiöitä. Laatu ei vaikuta pelkästään asiakkaan ja toimittajan välisen suhteen monimuotoisuuteen, vaan se koskee laajemminkin tuottajan ja tuotoksen vastaanottajan välistä suhdetta liittyen yhteistyön onnistumiseen ja tuottajan kilpailukyvyyn säilyttämiseen. (QL Laatutoiminta Oy 2016.)

Tuotteille ja palveluille kuluttajalla on aina ennakko-odotukset. Kuluttajan kannalta laadun määrittelyssä on kyse siitä, että täyttyykö odotukset, joita tuotetta kohtaan on etukäteen ollut. Tuotetta tai palvelua pidetään laadukkaana, jos ostaja on tyytyväinen ja kokee saaneensa rahoilleen vastinetta. (Opetushallitus 2019.)

Tuotannossa yritetään päästä aina mahdollisimman tasaiseen lopputulokseen, jotta jokainen valmistettu tuote olisi ominaisuuksiltaan samanlainen ja täyttäisi sille laaditut laatuksiteerit. Tasaista laatua valmistettaessa ollaan markkinoinnin kannalta turvallisella pohjalla, koska jokainen tuote täyttää vaatimukset, jotka mainonnassa tuodaan ilmi. (Opetushallitus 2019.)

Laatumääritelmää voidaan käyttää myös prosessin mittaamiseen, koska tuote on prosessin tulos. Mikäli tuotteen laatuun halutaan vaikuttaa, tulee prosessista tunnistaa tulokseen vaikuttavat muuttujat ja optimoida ne. Tähän tehtävään voidaan hyvin soveltaa Lean Six Sigma -menetelmiä. (Salminen 2014.)

3.2 Laadunhallinta

Laadunhallinta on tuotteen tai palvelun laadun ylläpitoa ja hallintaa niin, että sille annetut vaatimukset täyttyvät. Laadunhallintaan sijoittavat organisaatiot parantavat huomattavasti tuotteidensa ja palveluidensa laatua. Laadunhallinnalla saadaan myös tavoiteltua suurempaa markkinaosuutta ja parannettua tuotannon tehokkuutta ja tuottavuutta. Hyvin toteutettu laadunhallinta tuo taloudellisten hyötyjen lisäksi muitakin hyötyjä. Tuotannossa tapahtuvat virheet vähenevät, varastot pienenevät, joustavuus lisääntyy ja asiakkaat ovat tyytyväisiä. (Logistiikan maailma 2019.)

Kokonaisvaltaisesta laadunhallinnasta käytetään termejä laatujohtaminen ja kokonaisvaltainen laatujohtaminen. Kokonaisvaltaista laadunhallintaa toteuttaessaan organisaatiot pyrkivät olemaan erinomaisia kaikissa toiminnoissaan. Asiakastyytyväisyys ja

jatkuva parantaminen ovat kuitenkin keskeisiä tavoitteita. Taulukossa 1 on kuvattuna kokonaisvaltaisen laadunhallinnan onnistuneen toteuttamisen kannalta kriittiset tekijät ja menetelmät. Taulukosta selviää, että onnistumiseen vaaditaan monen eri osatekijän muodostama verkosto. (Taulukko 1.) Laatu-työn menetelmien ja järjestelmien käyttöönotto voi viedä vuosia ja tämän vuoksi se vaatii yritysjohtolta vankkaa sitoutumista ja paljon resursseja. (Logistiikan maailma 2019.)

Taulukko 1. Kokonaisvaltaisen laadunhallinnan kriittiset tekijät ja menetelmät (Logistiikan maailma 2019).

Kriittiset tekijät	Menetelmät (käytännöt, työkalut, tekniikat)
Asiakaslähtöisyys	Asiakasvalitusten käsittely, asiakkaan tarpeiden tunnistaminen, asiakastytytyväisyyskyselyt, myynnin jälkeiset toiminnot
Johdon sitoutuminen ja johtajuus	Ylimmän johdon sitoutuminen, laatu-neuvosto, parannustoimenpiteiden tukeminen
Laatusuunnittelu	Mission ja vision määrittäminen, laatu-politiikka ja -tavoitteet, liiketoimintasuunnitelma, viestintästrategiat, ohjaus- ja parannussuunnitelmat
Tosiasioihin perustuva johtaminen	Laatuauditoinnit, työntekijöiden suorituskyvyn ja tyytyväisyyden arviointi, liiketoiminnan arviointi, laatu-kustannukset, mittareiden käyttäminen
Jatkuva parantaminen	Suunnittele/toteuta/tarkista/kehitä (PDCA)- menetelmä, itsearvioinnit (ISO 9000, EFQM), seitsemän laadunohjaus- ja johtamistyökalua, muut työkalut ja tekniikat

3.3 ISO 9000 -standardi

Laadunhallinnan määritelmät on koottu ISO 9000 -sarjan standardiin. Standardissa autetaan käyttäjää ymmärtämään laadunhallinnan keskeiset käsitteet, periaatteet ja sanasto, jotta käyttäjä pystyy ottamaan laadunhallintajärjestelmän tehokkaasti käyttöön. Standardissa myös kuvataan hyvin määritellyn laadunhallintajärjestelmän prosessit ja resurssit. Organisaatiot pääsevät laatu-tavoitteisiinsa standardin avulla ja sitä voidaan soveltaa eri kokoihin organisaatioihin monimutkaisuudesta tai liiketoimintamallista riippumatta. (SFS-EN ISO 9000:2015, 5.)

Standardissa on selitettynä seitsemän laadunhallinnan periaatetta, jotka tukevat keskeisiä käsitteitä

- asiakaskeskeisyys
- johtajuus
- ihmisten täysipainoinen osallistuminen
- prosessimainen toimintamalli
- parantaminen

- näyttöön perustuva päätöksenteko
- suhteiden hallinta.

Ensisijaisena tavoitteena laadunhallinnassa on asiakkaan vaatimusten täyttäminen ja heidän odotusten ylittäminen. Näistä seuraavia hyötyjä ovat muun muassa asiakastyytyväisyys, parempi organisaation maine, asiakasuskollisuus ja asiakassuhteiden jatkuvuus. (SFS-EN ISO 9000:2015, 8.)

Organisaatiolle määritellään yhteiset tarkoitukset ja suunta organisaation eri tasoilla olevien johtajien toimesta. Luodaan myös olosuhteet, jotka mahdollistavat ihmisten täysipainoisen osallistumisen laatutavoitteiden saavuttamiseksi. Tärkeimpiä näistä saatavia hyötyjä ovat laatutavoitteiden saavuttaminen tehokkaammin, prosessien koordinointi onnistuu paremmin ja eri tasojen välinen viestintä paranee. (SFS-EN ISO 9000:2015, 9.)

Organisaatiolla on paremmat mahdollisuudet tuottaa lisää arvoa, kun organisaation eri tasoilla olevat ihmiset osallistuvat täysipainoisesti ja heillä on mahdollisuus vaikuttaa asioihin. Eri tasoihin kuuluvia ihmisiä on tärkeää kunnioittaa, jotta heidät saadaan osallistumaan ja organisaatiota voidaan johtaa tehokkaasti. Ihmisten täysipainoista osallistumista laatutavoitteiden saavuttamiseksi saadaan tuettua antamalla tunnustusta ja vaikutusmahdollisuuksia ihmisille. Tämän seurauksena he ymmärtävät laatutavoitteet paremmin ja heillä on suurempi motivaatio saavuttaa ne. Ihmiset saattavat myös herkemmin tehdä aloitteita tai toimia laadun parantamiseksi. (SFS-EN ISO 9000:2015, 10.)

Johdonmukaisiin ja ennustettaviin päätöksiin päästään parhaiten, kun toimintoja käsitellään prosesseina, jotka liittyvät toisiinsa ja toimivat yhtenäisenä järjestelmänä. Prosesseista koostuva laadunhallintajärjestelmän suorituskyky voidaan optimoida, kun ymmärretään kuinka järjestelmä tuottaa halutut tulokset. Prosesseista koostuvan järjestelmän hyötynä on, että voidaan keskittyä tiettyjen prosessien ja parantamismahdollisuuksien kehittämiseen. Suorituskykyä voidaan optimoida hallitsemalla prosesseja, käyttämällä resursseja tehokkaasti ja vähentämällä toimintojen välisiä esteitä. (SFS-EN ISO 9000:2015, 11.)

Keskeinen asia menestyvissä organisaatioissa on parantaminen. Se on tärkeää, jotta suorituskykyä saadaan ylläpidettyä ja huomataan reagoida muutoksiin organisaation sisäisissä ja ulkoisissa olosuhteissa. Parantamalla saadaan yleisesti nostettua suorituskykyä ja toimintakykyä sekä parannettua asiakastyytyväisyyttä. Organisaatiossa huomataan myös keskittyä asioiden perimmäisten syiden tutkimiseen, joita seuraa niihin kohdistuvat ehkäisy- ja korjaustoimenpiteet. (SFS-EN ISO 9000:2015, 11-12.)

Päätöksenteko saattaa olla monimutkainen prosessi, johon liittyy epävarmuutta. Taus-talla voi olla monen tyyppistä eri lähteistä olevaa tietoa, joka voi olla subjektiivista. Ha-luttuun lopputulokseen päästään todennäköisemmin, kun päätökset tehdään kerätyn näytön pohjalta. Kerättyä dataa ja informaatiota analysoimalla saadaan päätöksente-koon objektiivisempaa näyttöä. Näyttöön perustuvan päätöksenteon seurauksena pro-sessien kykyä saavuttaa tavoitteet on helpompi arvioida ja aiempien päätösten vaikutus on osoitettavissa paremmin. (SFS-EN ISO 9000:2015, 12-13.)

Organisaation tulee hallita suhteita eri sidosryhmiin (esim. toimittajat, yhteistyökumppa-nit ja asiakkaat), koska se vaikuttaa suoraan organisaation suorituskykyyn. Suhteita toi-mittaja- ja yhteistyökumppaniverkostoihin on erityisen tärkeä hallita, koska hyvin hallin-nassa olevalla toimitusketjulla saadaan tuotettua tasaisesti tuotteita ja palveluita. Tuot-teen tai palvelun laatuun liittyviä riskejä voidaan hallita jakamalla tietoa ja asiantunte-musta olennaisten sidosryhmien kanssa. (SFS-EN ISO 9000:2015, 13-14.)

4 LAADUN PARANTAMISEN MENETELMÄT

4.1 Nollavirheajattelu

Nollavirhe (Zero Defects) on Philip Crosby'n luoma termi, josta on tullut suosittu ja arvostettu käsite laadunhallinnassa. Se on yksi tärkeimmistä teorioista Six Sigman taustalla. Käsite on saanut paljon kritiikkiä, koska on väitetty, että nollavirheistä tilaa ei ole mahdollista saavuttaa. Sen takia onkin määritelty, että nollavirhe laadunhallinnassa ei tarkoita kirjaimellisesti täydellisyyttä, vaan tilaa, jossa hukka on poistettu ja virheitä vähennetty. (Simplilearn 2019.)

Nollavirheajattelu perustuu neljään sääntöön, jotka ovat (Simplilearn 2019):

- Laatu on sille asetettuja vaatimuksia vastaava varmuuden taso.
- Tehdään kaikki oikein ensimmäisellä kerralla. Laatua tulisi syntyä prosessin alusta asti, jotta virheitä ei jouduta korjaamaan myöhemmin.
- Laadun arvo mitataan rahassa.
- Suorituskyky on pyrittävä saamaan mahdollisimman lähelle täydellistä.

Kustannussäästöt ovat selkeä etu, kun nollavirhetaso saavutetaan. Kustannussäästöjen ja paremman laadun myötä saadaan parannettua asiakastyytyväisyyttä, joka johtaa parempaan myyntiin ja voittoihin. Nollavirhetavoite voi kuitenkin johtaa siihen tilanteeseen, että tavoitellaan liian täydellistä prosessia, jota ei voi realistisesti tavoittaa. Tämän saavuttamiseen käytetty aika ja resurssit voivat vaikuttaa negatiivisesti suorituskykyyn ja työntekijöiden työmotivaatioon. (Simplilearn 2019.)

4.2 Lean

Lean-ajattelu on kehittämisfilosofia, joka on monen eri menestyvän yrityksen toiminnan taustalla. Lean-käsitettä on myös käytetty kuvaamaan kustannustehokasta toimitusketjua. Lean-ajattelun mukaan yrityksen tärkeimpänä tehtävänä on tuottaa asiakkaalle arvoa. Asiakkaan arvo määritellään ja tunnistetaan, jonka jälkeen jäljelle jäävä hukka poistetaan ja pyritään järjestämään arvoa tuottavat prosessit sujuvaksi virtaukseksi. (Logistiikan maailma 2019a.)

Jatkuva parantaminen on tärkeä osa Lean-ajattelua. Pyritään jatkuvasti tunnistamaan eri hukkatointoja ja parantamaan prosessien virtausta. Keskeisessä roolissa kehittämisessä on ihmiset, koska on sanottu, että ihmisten osaamisen käyttämättä jättäminen on suurin hukka. On tärkeää, että toimintaa mitataan ja tuloksia otetaan tueksi päivittämisen johtamisen taustalle, jotta poikkeamat havaitaan mahdollisimman nopeasti ja niihin pysytään puuttumaan mahdollisimman nopeasti. (Logistiikan maailma 2019a.)

Leaniin liittyy paljon erilaisia periaatteita, jotka voidaan ryhmitellä eri tavoin. Lean pohjautuu suurilta osin Toyota Production Systemin periaatteisiin. Kuvassa 2 on ryhmiteltyä erilaisia työkaluja ja periaatteita prosessien parantamiseksi Toyota-talon mukaisesti. (Logistiikan maailma 2019a.)



Kuva 2. Toyota-talo (Logistiikan maailma 2019a).

4.3 Six Sigma

Siinä missä Lean keskittyy hukan poistoon, Six Sigmassa keskitytään prosessien vaihtelun minimoimiseen. Six Sigman avulla pyritään parantamaan prosessia systemaattisesti. Tavoitteena on vähentää vaihtelua prosessien tuloksena syntyvissä tuotteissa. Vaihtelua saadaan pienennettyä tunnistamalla prosessin syy-seuraussuhteista lopputulokseen vaikuttavat muuttujat ja tekemällä onnistuneita muutoksia niihin. Vaihtelun

vähentäminen vaikuttaa suoraan tuotannossa syntyvään hukkaan ja hukan vähentäminen kasvattaa virtausta. Six Sigmassa käytettäviä työkaluja ovat DMAIC-menetelmä ja DOE-koesuunnittelu. (Six Sigma 2019.)

DMAIC on Six Sigmassa käytettävä ongelmanratkaisumenetelmä. Sen avulla prosessista tunnistetaan suorituskykyä parantavat tekijät, joihin voidaan vaikuttaa. DMAIC perustuu seurantatekniikkaan, jonka avulla loogisesti etenemällä löydetään juurisyy ongelmalle. (Six Sigma 2019a.)

DMAIC koostuu seuraavista käsitteistä:

- Define: Ongelma tunnistetaan, rajataan ja suunnitellaan ratkaisulle tavoite.
- Measure: Mitatun perustella vahvistetaan ongelma ja tunnistetaan ongelman potentiaaliset aiheuttajat.
- Analyze: Analysoidaan kerättyä dataa ja sen perusteella löydetään ongelman aiheuttaja.
- Improve: Ratkaistaan ongelma ja kokeillaan ratkaisua käytännössä.
- Control: Luodaan järjestelmä, jolla varmistetaan, että saavutettu tila säilyy myös projektin jälkeen. (Six Sigma 2019a.)

Design of Experiments (DOE) eli koesuunnittelu on menetelmä, jolla tutkitaan prosessien muuttujien ja ulostulojen välillä olevaa syy-seuraussuhdetta. Menetelmän tehokkuus perustuu siihen, että voidaan suorittaa suuri määrä kokeita pienellä koeajolla. Nimensä mukaisesti kokeet perustuvat suunnitelmiin eli suunnitellaan etukäteen, kuinka prosessia ajetaan tai miten systeemiä muutetaan kokeen aikana. Koeajot suoritetaan suunnitelmien mukaan eli kerätään dataa. Kokeen aikana vaihdellaan muuttujan arvoa ja mitataan ulostuloa suunnitelmien mukaan. Saadun datan avulla löydetään ratkaisu asiasta, jota tutkitaan. (Six Sigma 2019b.)

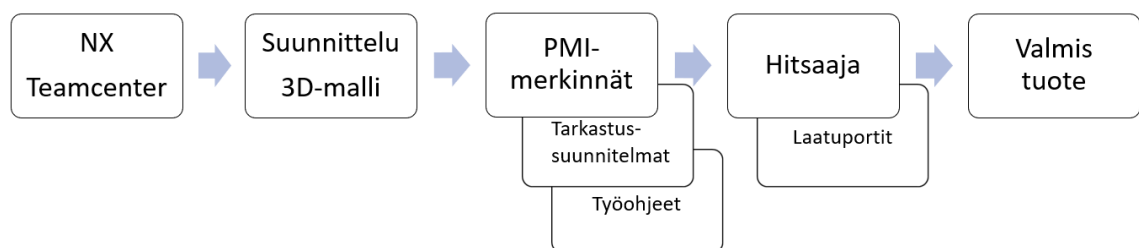
5 TARKASTUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN

5.1 Tavoitteet

Tarkoituksena on soveltaa Turun tehtaan runkovalmistusosastolle Sandvikilla yleisesti käytössä olevaa IPV-prosessia (In-Process Verification). Yksi IPV:n tarkoituksista on se, että tuotannossa tapahtuvat virheet havaittaisiin jo valmistusprosessin aikana, eikä vasta myöhemmässä työvaiheessa tai vasta, kun tuote on valmis. Näin vältetään korjaustoimenpiteitä, joista syntyy ylimääräisiä kustannuksia. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että runkovalmistuksen laatuportteja jatkokehitetään digitaalisten ratkaisujen kautta ja valmistettaville runko-osille tehdään hitsausprosessin aikaiset tarkastussuunnitelmat.

Tarkastuskohteiksi runko-osista valitaan hitsauksen kannalta kriittiset pisteet ja näille tarkastuskohteille suoritetaan tarkastus hitsaajien toimesta. Ensimmäiset tarkastussuunnitelmat tehdään LH517i lastauskoneen runko-osille eli keinuivulle, nostovarrelle, eturun- golle ja takarungolle. Tarkastussuunnitelmat on tarkoitus tehdä NX-suunnitteluohjelmalla ja tämän jälkeen ne ovat nähtävillä Teamcenter-tuotetiedonhallintajärjestelmässä.

Kuvio 1 on prosessikaavio tavoitetilasta. Teamcenterissä on suunnittelijan toimesta NX:llä tehty 3D-malli, johon tehdään PMI-merkintöjä, jotka sisältävät tarkastuskohteita ja työohjeita liittyen valmistettavaan tuotteeseen. PMI tulee sanoista Product and Manufacturing Information. Hitsaaja käyttää tehtyjä PMI-merkintöjä apuna tuotetta valmistettaessa ja laadun varmistamiseksi laatuportilla ennen kuin tuote lähtee seuraavaan työvaiheeseen.



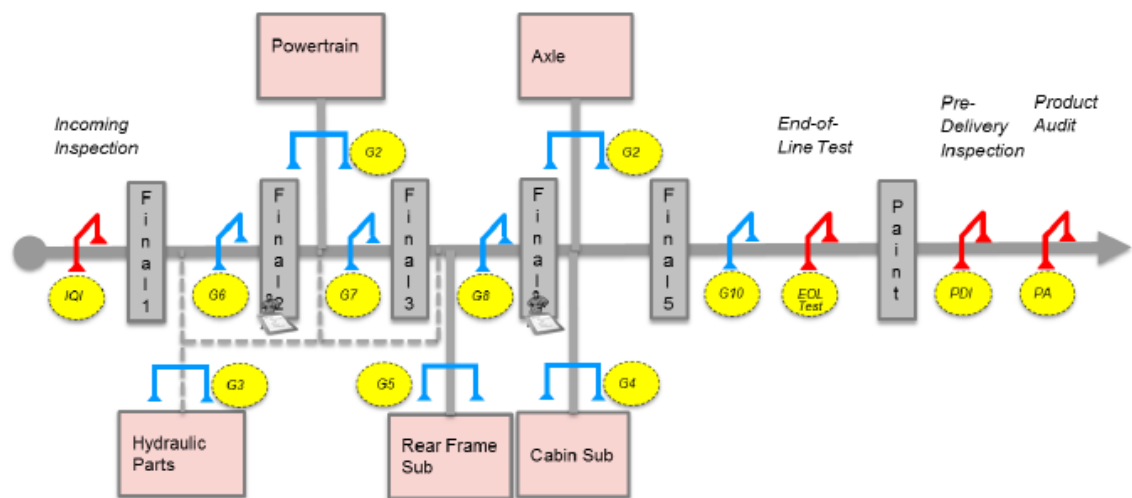
Kuvio 1. Prosessikaavio tavoitetilasta.

5.2 In-Process Verification

IPV:n eli prosessin aikaisen laaduntarkkailun olennaisia osia ovat laatuportit, löytämättä jääneiden/löydettyjen (missed/found) vikojen luokittelu ja pysähtyminen korjaamaan (SMPS Manual 2015, 11).

Laatuportit ovat tuotannon työvaiheiden välissä olevia tarkastelupisteitä. Jokaiselle laatuportille tulisi olla omat tarkastussuunnitelmat, joiden mukaan tuotteet tarkastetaan työvaiheen jälkeen. Kun tarkastussuunnitelman vaatimukset täyttyvät, voi tuotteen päästää seuraavaan työvaiheeseen. Laatuporteilla tehdään missed/found-luokittelua laatupoikkeamille ja tarkastussuunnitelmia päivitetään tehtyjen havaintojen mukaan. Pysähtyminen korjaamaan (Stop to Fix) on toimenpide, joka toteutetaan, kun laatuportilla havaitaan poikkeama. Tuotetta ei päästetä tuotannossa eteenpäin ennen kuin poikkeama on korjattu. Prosessin aikaisen laaduntarkkailun toimenpiteillä pyritään pääsemään lähemmäksi nollavirhetuotantoa. (SMPS Manual 2015a, 6.)

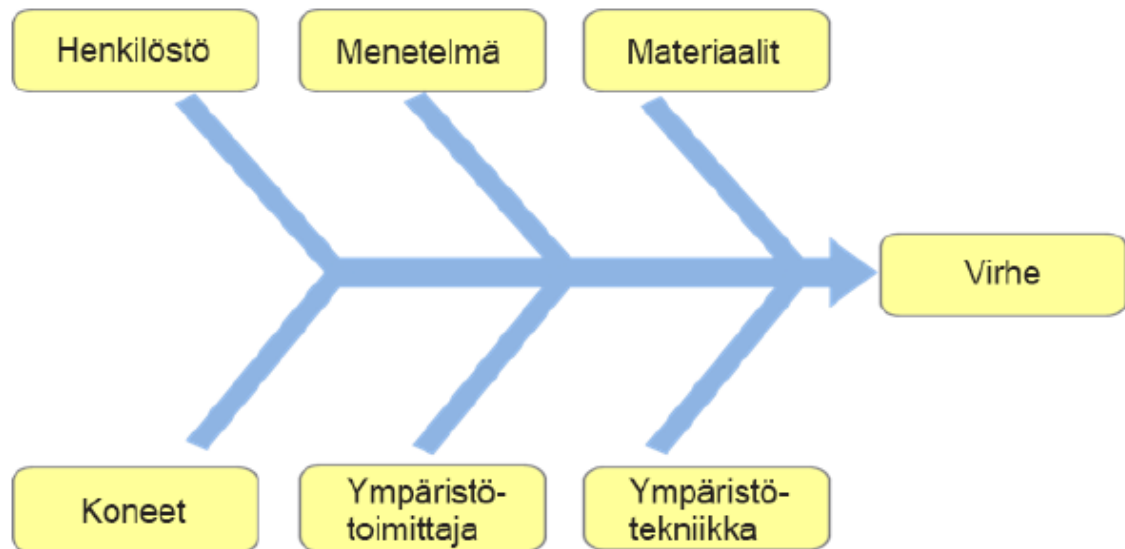
Kuvassa 3 on esimerkki laatuporttimallista, jossa on sijoitettuna laatuportteja prosessin eri työvaiheiden väliin.



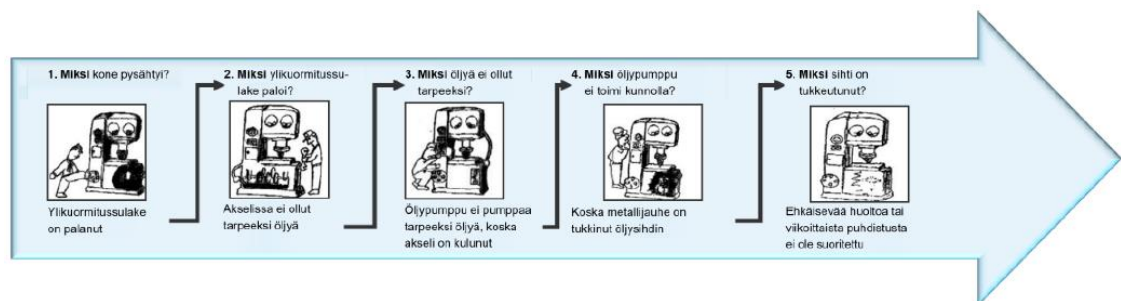
Kuva 3. Esimerkki laatuporttimallista (SMPS Manual 2015a, 11).

Kriittisille poikkeamille tehdään juurisyy analyysi. Suositeltuja menetelmiä tähän ovat Ishikawa (kalanruoto) -kaavion käyttäminen ja 5 x miksi -analyysimenetelmä. Kalanruoto-kaaviot auttavat analysoimaan juurisyytä tutkimalla koneiden, ihmisten, menetelmien, ympäristön, mittauksen ja materiaalien vaikutusta (kuvio 1). 5 x miksi -

analyysimenetelmä on yksinkertainen menetelmä, jolla voidaan löytää monimutkaistenkin ongelmien juurisyyt. Kuvassa 4 on esiteltynä menetelmän periaate. Menetelmässä kysytään toistuvasti ”Miksi?” käyttämällä lähtökohtana kuvausta ongelmasta. (SMPS Manual 2015, 15.)



Kuvio 2. Kalanruotokaavio (SMPS Manual 2015, 11).



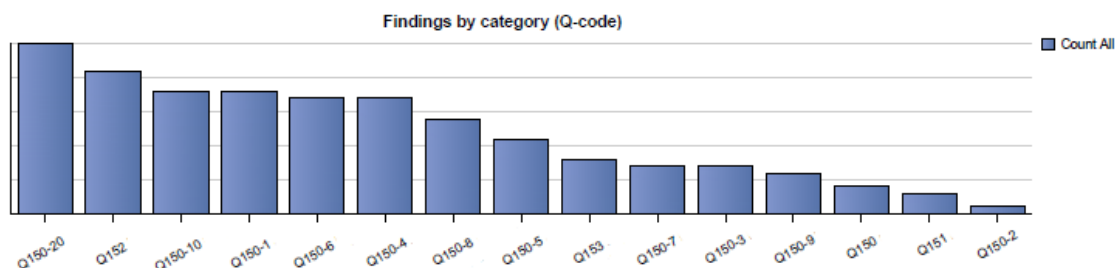
Kuva 4. 5 x miksi -menetelmä (SMPS Manual 2015, 15).

Turun tehtaan runkovalmistukselle hahmoteltiin laatuporttimalli ensin PowerPoint-esityksen muodossa. Tämän jälkeen tehtiin PowerPoint-esitystä vastaava prosessikaavio IMS-johtamisjärjestelmään (Integrated Management System). Prosessikaaviossa on kuvattuna runkovalmistusprosessin työvaiheet ja laatuportit niiden työvaiheiden välissä, joissa koetaan, että tarkastuksia tulisi tehdä. Prosessikaaviossa on eri työvaiheita kuvaamassa siniset laatikot, joihin on liitetty linkki Excel-taulukkoon. Excel-taulukkoon voi lisätä kyseiseen työvaiheeseen yleisellä tasolla liittyviä huomioita ja tarkastusasioita.

5.3 Laatupalautteet

Tarkastussuunnitelmiin laitettavien tarkastuskohteiden suunnittelu aloitettiin tutkimalla laatupalautteita. Laatupalautteista etsittiin toistuvuutta laatupoikkeamien välillä. Laatupalautteet ovat havaituista laatupoikkeamista tehtyjä merkintöjä Sandvikilla käytössä olevassa Lean-toiminnanohjausjärjestelmässä. Kun tuotannossa havaitaan laatupoikkeama, se kirjataan järjestelmään. Laatupalautteelle annetaan kriittisyysluokka, syykoodi ja tehdään missed/found-luokittelu.

Kriittisyysluokka annetaan laatupuutteen vakavuuden mukaan (low, high, critical). Laatupuutteen tyyppiä kuvataan syykoodilla. Hitsauksessa, koneistuksessa ja pintakäsittelyssä tapahtuneille virheille on omat syykoodinsa. Erilaisille hitsausvirheille on lisäksi tarkemmat syykoodit hitsausvirheen tyyppin mukaan. Missed-luokittelulla kuvataan laatupoikkeamaa, jota ei ole havaittu prosessin aikana tai laatuportilla, vaan vasta myöhemmässä vaiheessa tuotantoa. Vastaavasti found-luokittelu annetaan laatupoikkeamille, jotka on havaittu ajoissa ennen kuin tuote on siirtynyt tuotannossa eteenpäin. Laatupalautteista on mahdollista tulostaa raportit syykoodin (kuvio 2) ja missed/found luokittelun mukaan halutulla aikavälillä.



Kuvio 3. Kaavio laatupalautteista tulostetusta raportista.

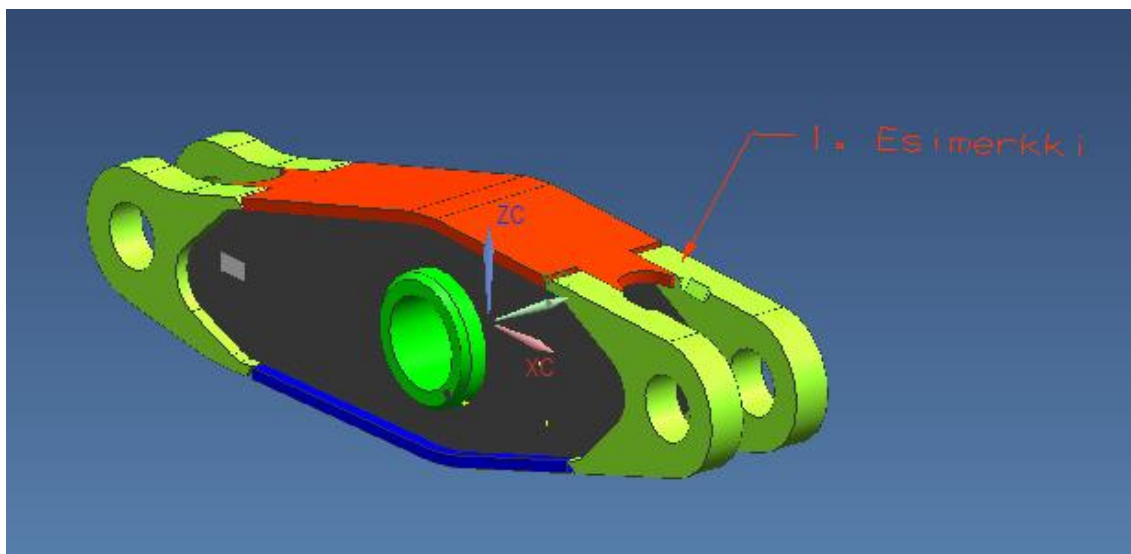
5.4 Teamcenter ja NX

Teamcenter on Siemensin kehittämä PLM-ohjelmisto (Product Lifecycle Management). Se on tuotetiedonhallintajärjestelmä, jolla pystytään hallitsemaan eri ohjelmistokokonaisuuksien kanssa kaikkea tuotteeseen liittyvää tietoa ja suunnitteluprosesseja. (Tuotteen elinkaaren hallinta 2019.) Tuotteisiin liittyvät kokoonpanokuvat, valmistuspiirustukset ja

muut dokumentit saadaan helposti jaettua työntekijöiden kesken ja mahdolliset revisiomuutokset ovat heti nähtävissä, kun ne julkaistaan.

NX on Siemensin valmistama 3D-CAD-suunnitteluohjelmisto, jolla saadaan tehtyä 3D-malleja ja niiden pohjalta 2D-kuvia. Valmistettavista tuotteista tehdään modeling eli mallinnuspuolella 3D-malli, jonka eri näkymistä saadaan tuotua kuvannot Drafting-sovelluksen 2D-kuvaan. Drafting-sovellusta käytetään valmistuspiirustusten tekemiseen. 2D-kuvassa saadaan kuvantoihin laitettua valmistusta varten tarvittavat mitat näkyviin, jonka jälkeen 2D-kuvaa voidaan käyttää valmistuspiirustuksena. NX on saatavilla Teamcenteriin integroituna, ja tämä mahdollistaa sen, että kuvat saa suoraan tallennettua Teamcenteriin, kun ne ovat valmiit.

NX:ään on saatavilla PMI-moduuli, jolla on mahdollista tehdä 3D-malleihin valmistukseen liittyviä merkintöjä. Mahdollisia merkintöjä voivat olla esim. erilaiset mitat, hitsausmerkinnät tai huomiomerkinnät liittyen tuotteen valmistukseen. 3D-malliin tehdyt PMI-merkinnät saa myös näkyviin jälkeempään tehtävään 2D-kuvaan. Kuvassa 5 on NX:stä kuvankaappaus, jossa on keinuivun 3D-malli ja esimerkki PMI-merkinnästä.

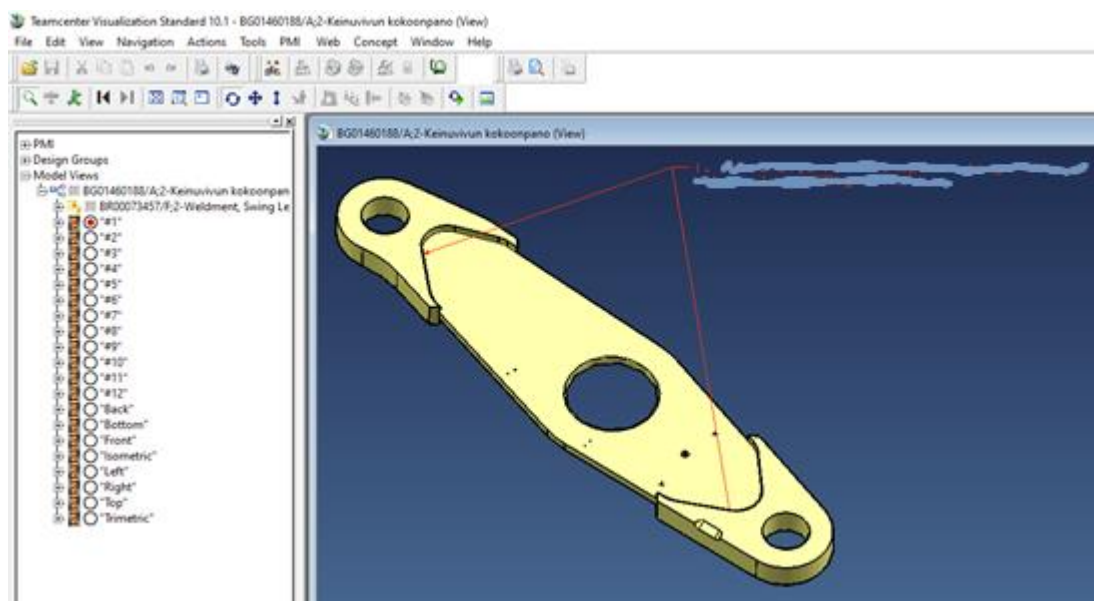


Kuva 5. Keinuivun 3D-malli ja PMI-merkintä.

5.5 Työohjeiden tekeminen NX:llä

Keinuivun kokoonpanohitsauksesta tehtiin NX:llä kokoonpano-ohjeet. Teamcenteriin tehtiin keinuivun kokoonpanolle oma nimike ja siihen tuotiin hitsauksen 3D-malli pohjaksi. Hitsaajia haastatteleamalla selvitettiin, että miten keinuivun kokoonpanohitsaus

tehdään ja NX:llä tehtiin 3D-mallille eri näkymiä kokoonpanovaiheiden mukaan. Näkymät tehtiin valmiista 3D-mallista, joten jokaisen näkymän osalta joutui piilottamaan komponentteja, joiden ei luonnollisesti vielä siinä vaiheessa kokoonpanohitsausta tulisi olla paikallaan. Merkintöjä näkymiin tehtiin NX:n PMI-moduulilla. Näkymät oli tarkoitus saada nähtäville myös NX:n ulkopuolella, ja Teamcenterin Visualization -liitännäinen mahdollistaa tämän. Kuva 6 on kuvankaappaus keinuviivun kokoonpanohitsauksen ohjeesta Visualizationissa. Kuvassa vasemmalla puolella ovat näkymät listattuna ja oikealla puolella 3D-malli ja PMI-merkintä.



Kuva 6. Kuvankaappaus Teamcenter Visualization -liitännäisestä.

5.6 Tarkastussuunnitelmien tekeminen

Tarkastussuunnitelmiin laitettavien tarkastuskohteiden valintakriteereinä toimivat kriittisyys, sisäiset ja ulkoiset asiakaspalautteet sekä mahdollinen vaikutus seuraavien työvaiheiden onnistumisen kannalta. Valinnat perustuvat FMEA:han (Failure Mode and Effect Analysis) eli vika- ja vaikutusanalyysiin, jolla arvioidaan vian toistuvuutta, vakavuutta ja havaittavuutta. Runko-osille tehtiin tarkastussuunnitelmat, joita voidaan käyttää hitsausprosessin aikaista tarkastusta tehdessä.

Tarkastussuunnitelmat tehtiin käyttämällä runko-osien hitsauksen 3D-malleja pohjana. Näistä 3D-malleista on myös tehty runko-osien hitsauspiirustukset.

Tarkastussuunnitelmille tehtiin omat nimikkeet Teamcenteriin, joten ne eivät löydy suoraan hitsausmallien alta Teamcenterin rakenteessa.

3D-malleihin tehtiin NX:llä samalla tavalla omat näkymät PMI-merkinnöille, kuin keinuviivun kokoonpanohitsausohjeessa. Tarkastussuunnitelmat tehtiin NX:n Drafting-sovelluksella tuomalla 3D-mallin näkymät kuvannoiksi tarkastussuunnitelmiin. Drafting-sovellusta käytetään valmistuspiirustusten tekemiseen, joten tarkastussuunnitelmista tuli ulkoasultaan samannäköisiä kuin piirustukset. NX:n taulukkotyökalulla tarkastussuunnitelmiin tehtiin taulukot, joissa on listattuina kaikki kuvantoihin merkityt tarkastuskohdat.

NX:n mallinnuspuolella on mahdollista tulostaa PMI-raportti Exceliin. Raportti aukeaa Exceliin ja siinä on taulukoituna kaikkien 3D-malliin tehtyjen PMI-merkintöjen tiedot. Taulukko voidaan tallentaa Excel-tiedostona tietokoneelle. Drafting-sovelluksen taulukkotyökalulla tehdyt taulukot on myös mahdollista avata Exceliin ja näin ollen niihin voi kopioida PMI-raportin tiedot suoraan. Tarkastussuunnitelmia tehdessä kuitenkin koettiin paremmaksi tavaksi kirjoittaa tarkastussuunnitelmien taulukoihin tulevat tiedot käsin, koska PMI-raportti sisältää niin paljon ylimääräistä tietoa, joka ei olisi ollut oleellista tarkastussuunnitelmissa.

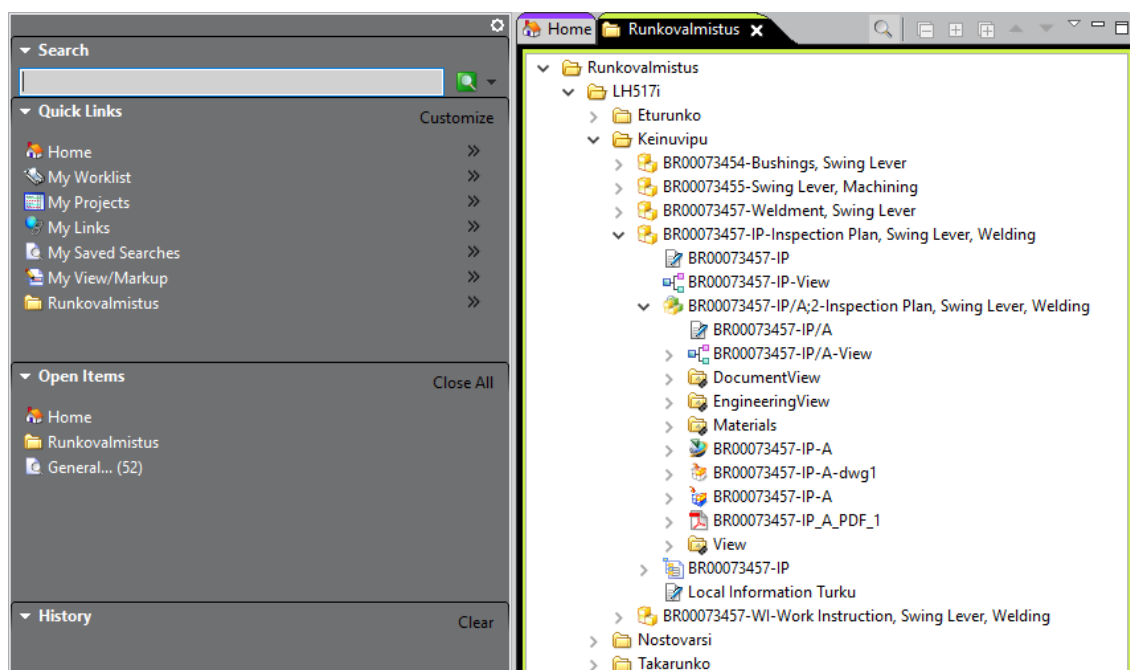
Kun tarkastuskohteet on tehty PMI-merkintöinä 3D-malleihin, niitä on myös mahdollista tarkastella Teamcenterin Visualization -liitännäisellä. Kun tarkastusmallin avaa Visualizationissa, saa siihen tehdyt PMI-merkinnät näkyviin ja tarkastuskohteita on mahdollista tarkastella 3D-muodossa. Drafting-sovelluksella tehdyistä 2D-kuvista saa tehtyä NX:llä PDF-tiedostot suoraan Teamcenteriin. Tehdyistä tarkastussuunnitelmista tehtiin PDF-tiedostot, jotka voi tulostaa paperille, ja ne ovat tallennettuna Teamcenterissä tarkastussuunnitelmien nimikkeen alla.

5.7 Teamcenterin rakenne

Koska tarkastussuunnitelmille tehtiin omat nimikkeet, ne eivät löydy suoraan hitsausmallien alta Teamcenterissä. Teamcenterin tietokantaan tehtiin kansio runkovalmistukselle, johon tehtiin LH517i-konemallille alikansio. Alikansiosta löytyvät eturungolle, keinuviivulle, nostovarrelle ja takarungolle tehdyt kansiot. Näistä kansioista löytyvät kyseisille runko-osille tehdyt tarkastussuunnitelmat ja mahdolliset työohjeet. Lisäksi kansioihin kopioitiin holkituksen, koneistuksen ja hitsauksen nimikkeet, joten tarvittaessa hitsaus- ja koneistuspiirustukset löytyvät samoista kansioista kuin tarkastussuunnitelmat.

Kansiorakenteeseen on myös mahdollista tehdä muille konemalleille kansiot, kun niille aletaan tehdä tarkastussuunnitelmia. Silloin kaikkien koneiden tarkastussuunnitelmat löytyvät samasta kansioista.

Runkoalustus-kansio tehtiin, jotta kaikki tarvittavat kuvat löytyisivät helposti samasta paikasta, eikä niitä tarvitsisi erikseen hakea niiden omilla nimikkeillä järjestelmästä. Jokaisen Teamcenterin käyttäjän on mahdollista ottaa kansioista kopio omalle Teamcenterin työpöydälle tai laittaa kansio käyttöliittymässä vasemmalla oleviin pikalinkkeihin tai suosikkeihin. Näin kansiota ei tarvitse joka kerta hakea järjestelmästä uudestaan, jos se suljetaan, vaan kansio löytyy suoraan käyttöliittymän aloitusnäkyästä. Kuva 7 on Teamcenteristä otettu kuvankaappaus, jossa on luotu tiedostorakenne.



Kuva 7. Kuvankaappaus Teamcenteristä.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli soveltaa IPV:n periaatteita Sandvikin Turun tehtaan runkovalmistukselle jatkokehittämällä laatuportteja digitaalisten ratkaisujen kautta. LH517i-lastauskoneen runko-osille saatiin luotua hitsausprosessin aikaiset tarkastussuunnitelmat ja ohjeet keinuivun kokoonpanohitsauksesta. IMS-johtamisjärjestelmään tehtiin myös prosessikaavio kuvaamaan runkovalmistuksen laatuporttimallia.

NX:llä tehtiin PMI-merkintöjä Teamcenteristä löytyviin runko-osien 3D-malleihin. Malleihin tehtäviä PMI-merkintöjä on nopea lisätä tai poistaa, joten siltä osin tarkastussuunnitelmia ja työohjeita on helppo päivittää. Tarkastusmalleista tehtyjen 2D-kuvien ja PDF-tiedostojen päivittäminen käy myös helposti, mutta niissä olevien taulukoiden hienosäätämiseen voi mennä hieman aikaa.

Tehtyjä tarkastussuunnitelmia voi käyttää esimerkkipohjana, kun niitä aletaan tekemään muille konemalleille. Teamcenteriin tehtyä kansiota voi myös hyödyntää tekemällä muille konemalleille omat alikansiot, kun konseptia aletaan kehittämään edelleen. Tulevaisuutta ajatellen PMI-merkintöjen tekemisestä tehtiin myös ohjeet. Ohjeessa käsitellään, kuinka suunnittelijan tekemän valmiin 3D-mallin saa kopioitua tarkastusmallin pohjaksi ja kuinka siihen tehdään näkymiä PMI-merkintöjä varten. Ohjeessa on myös selitetty, kuinka 2D-kuvantoihin saa PMI-merkinnät näkyviin Drafting-sovelluksessa.

PMI-merkintöjä 3D-malleihin lisäämällä päästiin tavoitteiden mukaisiin tuloksiin. PMI-merkinnöillä tiedon kerääminen malleihin osoittautui toimivaksi tavaksi ottaa valmistukseen liittyvää tietoa talteen sähköisessä muodossa ja Teamcenterin Visualization -liitännäinen on kätevä tapa tarkastella tehtyjä merkintöjä.

LÄHTEET

Anttila, J. & Jussila, K. 2016. Mitä laatu on? Artikkel. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Viitattu 11.11.2019.

https://www.sfs.fi/ajankohtaista/uutiskirjeet/uutiskirjeet_2016/mita_laatu_on_artikkeli

Karjalainen, E. 2006. Mitä laatu tarkoittaa? Quality Knowhow Karjalainen Oy. Viitattu 21.11.2019.

<http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/mita-laatu-tarkoittaa/>

Logistiikan maailma 2019. Laadunhallinta, laatujohtaminen ja -järjestelmät. Viitattu 18.11.2019.

<http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/laatu/laadunhallinta-laatujohtaminen-ja-jarjestelmat/>

Logistiikan maailma 2019a. Lean-ajattelu. Viitattu 28.11.2019.

<http://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/lean-ajattelu/>

Opetushallitus. Mitä laatu on. Viitattu 18.11.2019.

http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/laatu_ja_standardit/mita_laatu_on/

QL Laatutoiminta Oy 2016. Mitä laatu on?. Viitattu 11.11.2019.

<https://www.ql.fi/missiomme/mita+laatu+on/>

Salminen, S. 2014. Mitä laatu on? Osaammeko määritellä sen? Aalto PRO. Viitattu 11.11.2019.

<https://www.aaltopro.fi/aalto-leaders-insight/2014/mita-laatu-on-osaammeko-maaritella-sen>

Sandvik 2019. Intranet. Viitattu 29.10.2019.

Sandvik 2019a. Our company. Viitattu 21.10.2019.

<https://www.home.sandvik/en/about-us/our-company/>

Sandvik 2019b. History. Viitattu 21.10.2019.

<https://www.home.sandvik/en/about-us/our-company/history/>

Sandvik 2019c. Business areas. Viitattu 22.10.2019.

<https://www.home.sandvik/en/about-us/our-company/business-areas/>

SFS-EN ISO 9000:2015. Laadunhallintajärjestelmät. Perusteet ja sanasto. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Simplilearn 2019. Concept of Zero Defects in Quality Management. Viitattu 25.11.2019.

<https://www.simplilearn.com/concept-of-zero-defects-quality-management-article>

Six Sigma 2019. Mitä Six Sigma on?. Viitattu 28.11.2019.

<http://www.sixsigma.fi/fi/six-sigma/>

Six Sigma 2019a. Lean Six Sigma DMAIC -ongelmanratkaisumenetelmä. Viitattu 28.11.2019.

<http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/six-sigma/dmaic/>

Six Sigma 2019b. Koesuunnittelu (Design of Experiments, DOE). Viitattu 20.12.2019.

<http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/six-sigma/kokemuksia-lean-six-sigmasta/koesuunnittelu-design-of-experiments-doe/>

SMPS Manual 2015. SMPS Manual - Operational Excellence v1.6 November 2015 (Finnish).pdf.

SMPS Manual 2015a. SMPS Manual - In-Process Verification v2.3.pdf.

Tuotteen elinkaaren hallinta 2019. Wikipedia. Viitattu 20.12.2019.

https://fi.wikipedia.org/wiki/Tuotteen_elinkaaren_hallinta